

A nikkel (^{63}Ni) eloszlása és retranzlokációja, fiatal napraforgó növényekben

N. PETROVIĆ és R. KASZTORI

Újvidéki Egyetem, Mezőgazdasági Kar, Novi Sad
(Jugoszlávia)

Napjainkban számos kutató tanulmányozta az ionok vándorlását és az ezzel kapcsolatos ion-szállítást a magasabbrendű növényekben. Az eddigi kutatások azt igazolják, hogy e mozgás — a különböző ionok esetén — változó, de az egyfajta ionokra jellemző, és kisebb vagy nagyobb mértékben függ az exogén és az endogén tényezőktől (WEATHERGEY [19], LAUCHI [11], SUTCLIFFE [16]).

BUKOVAC és WITWER [4] kísérletei szerint — a bazipetális gradiens alapján — osztályozható az egyes elemek ionjainak mozgása; lehet jó (pl.: Cl, S, P, Na, K ionjai), közepes (pl.: Fe, Zn, Cu, Mo ionjai) és gyenge (pl.: Ca, B, Sr ionjai). Egyes ionok vándorlása, mint például: a vas, a foszfor, a kalcium stb., ma már részletesen ismert; míg más elemek ion-mozgásáról — mint például a nikkel —, csak keveset tudunk.

A nikkel nem tartozik a nélkülözhetetlen elemek közé, valószínű ez az oka, hogy mozgását — a magasabb rendű növényekben — ez ideig, részletesen nem tanulmányozták. Az utóbbi időben azonban, több kutató munkájában arra utalt (MISHRA és KAR [13]), hogy a nikkel kihat egyes enzimek aktivizására és meghatározott koncentrációban serkenti a magok csírázását, valamint a növények növekedését (HUNTER és VERGANO [10]). A nikkel nagyobb arányú koncentrációja károsan hat a növényekre és mérgező hatású az emberre és az állatra; ezért igen fontos a nikkel mozgásának és felhalmozódásának ismerete, az egyes növényekben és azok szerveiben. A nikkel vegyületeit használják mint növényvédőszer (FORSYTH [8], BOŠKOVIĆ [3]) és alkalmazzák a növénytermesztésben terméstebblet, ill. jobb minőség elérése céljából is (DOBROLYUBSKII és SLAVVO [7], CHANG és SHERMAN [5]).

Az előzőekben ismertetett okok miatt, kísérleteket végeztünk a nikkel bazipetális és akropetális mozgására, retranzlokációjára, valamint megoszlására a növényekben. A kísérleteket fiatal napraforgó növényekkel végeztük; e növény morfológiai felépítése különösen megfelelő e problémák kutatására.

Kísérleti anyag és vizsgálati módszer

A kísérleteket 14 napos, fiatal napraforgó növényeken végeztük (*Helianthus annuus*, fajta Peredowik). A napraforgó magokat kvarchomokba helyeztük, melyet előzőleg átitattunk 3×10^{-3} mM CaSO_4 oldattal. A nyolc napos csíranövényeket áthelyeztük tápoldatra. Az alkalmazott tápoldat összetétele

makro-elemekre (mg/l) a következő volt: NH_4NO_3 600, KH_2PO_4 136, KCl 370, CaCl_2 555, MgSO_4 260, FeCl_3 20; mikro-elemekre (mg/l) pedig: H_3BO_3 300, MnCl_2 130, CuSO_4 22, ZnSO_4 42, NaMoO_4 7.

A kísérleteket üvegházban végeztük, 22 ± 3 °C hőmérséklet és 60–75% páratartalom mellett, természetes megvilágítással.

A rádióaktív ^{63}Ni -t ($^{63}\text{NiCl}_2$) a „New England Nuclear” cég bocsátotta rendelkezésünkre.

1. Kísérlet a gyökéren keresztül felvett ^{63}Ni megoszlásának és retranzlokációjának tanulmányozására, intakt növényeken.

A gyökérfelvételt úgy vizsgáltuk, hogy 1 liter oldathoz $20 \mu\text{Ci}$ ^{63}Ni -t adtunk $^{63}\text{NiCl}_2$ alakjában, melynek fajlagos aktivitása $6,3 \text{ mCi/mg Ni}$ volt. Az ion-felvétel 24 órán át tartott, utána a növény gyökerét csapvízzel megmostuk, majd háromszor 10 percig $0,02 \text{ mM}$ NiCl_2 oldatban tartottuk. A kísérleti növények első csoportját vizsgálva, azokat szervekre szétvágtuk: gyökérre, szárra (hipocotyl + epicotyl), sziklevelekre és az első levélpárra. A második csoportot áthelyeztük tápoldatra és tovább neveltük. A ^{63}Ni -felvétel utáni első három napon a tápoldatot minden nap, a következő hat napban minden második nap, utána minden harmadik nap cseréltük. Amikor a növényeken a harmadik levélpár is kifejlődött — a második csoportot is — szervekre szétvágtuk: gyökérre, sziklevelekre, első levélpárra, a szár alsó részére (mely a ^{63}Ni -felvétel előtt fejlődött), a második levélpárra, a szár felső részére (mely a ^{63}Ni -felvétel után fejlődött), és a harmadik levélpárra. Ezután a kísérleti anyagot, növéymintákat 105 °C-on megszárítottuk és megállapítottuk a szárazanyag-súlyt, majd 600 °C-on elhamvasztottuk. A ^{63}Ni meghatározása céljából, a hamut HCl oldattal kezeltük, majd szcintillátort adtunk az oldathoz; utána a sugárzást szcintillátor-spektrométeren (Packard-Tri-Carb 2425) mértük.

2. Kísérlet, a gyökérfelvétel utáni ^{63}Ni megoszlásának és retranzlokációjának tanulmányozása olyan növényeken, amelyek gyökerét a ^{63}Ni -felvétel után eltávolítottuk.

A kísérleteket nemcsak intakt növényeken végeztük, a vizsgált növények harmadik csoportjának gyökerét, a 24 órás ^{63}Ni -felvétel után eltávolítottuk (a ^{63}Ni felvétele ugyanolyan oldatból történt, mint az előző kísérletben). A csonkítást úgy végeztük, hogy a szár legalsó részét (kb. 1 cm -t), a gyökérrel együtt levágtuk. A szár metszett felületét parafinnal fedtük be, utána csonkított növényeket tápoldatba helyeztük, újbóli gyökereztetés céljából. A következő 16 napban új gyökérzet fejlődött; ekkor a növényeket learattuk és szervekre bontottuk: gyökérre, a szár alsó részére *A* (a szár azon része, ahol a járulékos gyökerek fejlődtek), a szár középső részére *B* (*A* résztől az első pár levélig terjedő szakasz), sziklevelekre, első levélpárra, felső szárrészre *C* (a szár azon része, mely a ^{63}Ni felvétele után fejlődött), második levélpárra és a harmadik levélpárra. A növéyminták vizsgálata az 1. kísérletben leírtak szerint történt.

3. Kísérlet, a levélen keresztül felvett ^{63}Ni megoszlásának és retranzlokációjának tanulmányozására.

A kísérleti növények ugyanolyan körülmények között voltak felnevelve, mint az előző megfigyelések alkalmával. A ^{63}Ni felvétele levélen keresztül történt. Az első levélpár egyikét 24 órára $30 \mu\text{Ci}$ ^{63}Ni -t tartalmazó oldatba mártottuk; majd csapvízzel megmostuk és utána szűrőpapírral megszárítottuk. A kísérleti növényeket ismét két csoportra osztottuk, az egyik részt learattuk és szervekre daraboltuk, míg a növények másik csoportját tovább termesztettük; mindaddig, míg a harmadik levélpár ki nem fejlődött. Utána ezeket is

1. táblázat

A ^{63}Ni eloszlása és retranzlokációja a fiatal napraforgó növényekben a gyökéren keresztüli felvétel után

(1) Szervek	(2) A ^{63}Ni 24 órás felvétele után			(3) A ^{63}Ni felvétele után 16 nappal		
	(4) Cpm/g szárazanyag	(5) Cpm/növény	(6) ^{63}Ni elosz- lása %- ban	(4) Cpm/g szá- razanyag	(5) Cpm/növény	(6) ^{63}Ni elosz- lása %-ban
a) Gyökér	174 012	3 882	68,32	17 233	2 366	42,79
b) A szár alsó része	23 634	470	8,27	2 366	474	8,57
c) Sziklevelek	9 283	424	7,46	1 429	65	1,17
d) Első levélpár	31 075	906	15,95	2 914	413	7,47
e) A szár felső része				2 573	112	2,03
f) Második levélpár				3 322	540	9,77
g) Harmadik levélpár				9 525	1 286	23,26
h) Az egész növény		5 682	100,00		5 256	
i) Kiáramlás a gyökéren keresztül					273	4,94
SzD 5%	566	42		104	12	100,00
1%	1 074	79		191	22	

leartuk és szervekre daraboltuk: gyökérre, sziklevelekre, első levélpárra (külön a kezelt és külön a kezeletlen levél), alsó szárrésze (mely a kezelés előtt fejlődött), a második levélpárra, felső szárrésze (mely a kezelés után fejlődött), és a harmadik levélpárra. A növénymintákat az 1. kísérletnél leírtak szerint dolgoztuk fel.

Mindhárom kísérletben, egy-egy kezelést hatszori ismétléssel végeztünk.

Vizsgálati eredmények

Az adatok alapján — melyeket az 1. táblázatban közlünk — leszögezhetjük, hogy a nikkeltovaszállítás xilem útján, intenzív. A 24 órás gyökérfelvétel után, a felvett ^{63}Ni mintegy 32%-a a földfeletti szervekbe vándorolt. A földfeletti részben: az első levélpárban, vagyis a legfiatalabb szervekben volt mérhető a nikkelt legnagyobb mértékű felhalmozódása.

16 nappal a gyökérfelvétel után, a radioaktivitás erősen csökkent a gyökérben. Egyrészt, a ^{63}Ni a gyökérből a földfeletti szervekbe való áthelyeződése; valamint a gyökérből, a körülvevő tápoldatba való kivándorlása (efflux) következtében. A ^{63}Ni eloszlása a növényekben — 16 nappal a gyökérfelvétel után — a ^{63}Ni intenzív retranzlokációjára utal. A gyökérből, a sziklevelekből — melyek ezalatt elvesztették élettani aktivitásukat —, úgyszintén az első levélpárból, a ^{63}Ni jelentős része (összesen, mintegy 35%-a), áthelyeződött az újonnan fejlődött szervekbe. A 16 nap után végzett vizsgálat ugyanazt igazolta, mint a 24 órás gyökérfelvétel után kapott eredmény, a ^{63}Ni mindkét esetben, nagymértékben, a növény legfiatalabb szerveiben halmozódott fel.

Az ionok retranzlokációjának, intakt növényeken végzett vizsgálatokor — hosszabb időtartam esetén —, fennáll az a hibalehetőség, hogy a gyökéren keresztül kivándorló ionokat a növény újból felveszi, és közvetlenül az újonnan fejlődött szervekbe szállítja. A leírt hibalehetőség kiküszöbölésére, valamint a ^{63}Ni , — a szárból, az új vegetatív gyökerekbe történő tovaszállításának meg-

2. táblázat

A ^{63}Ni eloszlása és retranzlokációja a fiatal napraforgó növényekben, melyeknél a ^{63}Ni felvétele után a gyökeret eltávolítottuk

(1) Szervek	(2) A ^{63}Ni 24 órás felvétele után			(3) A ^{63}Ni felvétele után 16 nappal		
	(4) Cpm/g szárazanyag	(5) Cpm/növény	(6) ^{63}Ni eloszlása %-ban	(4) Cpm/g szárazanyag	(5) Cpm/növény	(6) ^{63}Ni eloszlása %-ban
a) Az újonnan kifejlődött gyökér						
b) Szár (A + B)	23 634	470	26,11	4 679	239	13,53
c) A szár alsó része (A)				2 370	69	3,91
d) A szár középső része (B)				2 434	214	12,12
e) Sziklevelek	9 283	424	23,56	1 082	41	2,32
f) Első levélpár	31 075	906	50,33	3 224	245	13,87
g) A szár felső része (C)				3 116	67	3,79
h) Második levélpár				3 737	343	19,42
i) Harmadik levélpár				7 559	542	31,04
j) Az egész növény		1 800	100,00		1 760	100,00
SzD 5^0_0	199	19		87	9	
1^0_0	392	37		158	15	

határozására, olyan növényeken is végeztünk kísérletet, amelyek gyökerét a ^{63}Ni -felvétel után, azonnal eltávolítottuk.

Azokban a növényekben — melyek gyökerét a kezelés után eltávolítottuk — a ^{63}Ni eloszlása hasonló volt, mint az előző kísérletben (2. táblázat). Ez esetben is a ^{63}Ni a fiatalabb szervekben halmozódott fel nagyobb mértékben, különösen a legfiatalabb levélben volt ez szembetűnő.

16 nappal a ^{63}Ni felvétele után az egy növényben levő ^{63}Ni -tartalom 68%-a retranzlokálódott, a fiatalabb szervekbe; amelyek már a kezelés után fejlődtek: az új gyökerekbe, szárba, a második és harmadik levélpárba. A ^{63}Ni áthelyeződése — az újonnan kifejlődött szervekbe — intenzívebb volt a csonkított, mint az intakt növények esetében. A ^{63}Ni áthelyeződése a szár azon részén volt nagymértékű, ahol kifejlődtek az új gyökerek. Így magyarázható, hogy a mérésekkor, a szár alsó részében (A), lényegesen kisebb mennyiségű ^{63}Ni volt található, mint a szár középső részében (B).

A ^{63}Ni kiáramlása — az újonnan fejlődött gyökerekből a környező oldatba — nem volt kimutatható (a mérési eredmények, a statisztikai megengedett hibahatár szintjén mozogtak).

Azon kísérleti eredmények — melyeket a levélen keresztül felvett ^{63}Ni vizsgálatakor kaptunk (3. táblázat) — szintén azt igazolták, hogy a ^{63}Ni mind akropetális, mind bazipetális irányban jól vándorol. A levélfelvétel után 24 órával, a kezelt levél összes ^{63}Ni mennyiségének 96%-a, míg 16 nap múlva, már csak 63%-a maradt vissza a kezelt levélben; mintegy 14%-a a gyökér irányába, míg kb. 22%-a a növény felső részébe vándorolt. Szembetűnő a kezelt levéllel szemben levő levél kis ^{63}Ni tartalma; ez magyarázható a ^{63}Ni lassú oldalirányú diffúziójával. A ^{63}Ni a szár alsó részében — a kezelt levélből történő kiáramlás helyén — nagyobb mértékben halmozódott fel. A sziklevelek irányában kevés ^{63}Ni szállítódott, mivel az — időközben — elvesztette fiziológiai aktivitását.

A ^{63}Ni eloszlására nem volt hatással az, hogy gyökéren, illetve levélen keresztül történt a felvétel. Mindkét esetben a földfeletti részben a legnagyobb

3. táblázat

A ^{63}Ni eloszlása és retranzlokációja a fiatal napraforgó növényekben a levélen keresztüli felvétel után

(1) Szervek	(2) A ^{63}Ni 24 órás felvétele után			(3) A ^{63}Ni felvétel után 16 nappal		
	(4) Cpm/g száraz- anyag	(5) Cpm/nő- vény	(6) ^{63}Ni elosz- lása %-ban	(4) Cpm/g szá- razanyag	(5) Cpm/nő- vény	(6) ^{63}Ni elosz- lása %-ban
a) Gyökér	3 380	250	0,92	12 539	634	2,51
b) Sziklevelek	718	23	0,08	2 742	88	0,35
c) A szár alsó része	15 125	714	2,63	17 324	2 850	11,27
d) Első levélpár:						
I. kezelt levél	2 315 946	26 121	96,26	662 601	15 862	62,70
II. kezeletlen levél	1 653	26	0,11	9 702	283	1,12
e) A szár felső része				19 566	328	1,30
f) Második levélpár				35 884	2 312	9,14
g) Harmadik levélpár				47 783	2 842	11,23
h) Az egész növény		27 134	100,00		25 199	
i) Kiáramlás a gyökéren keresztül					98	0,93
SzD 5%	3 411	88		392	13	100,00
1%	6 346	164		710	25	

felhalmozódás a legfiatalabb levelekben észlelhető. A levélen keresztül történt ^{63}Ni -felvétel után — a gyökéren keresztül — a tápoldatba leadott ^{63}Ni mennyisége minimális volt.

Az eredmények megvitatása

A kísérleti eredmények azt mutatták, hogy a nikkelt xilem útján — a transzspirációs áramlás irányában, a fiatal levelekhez — intenzíven szállítódik. Ezt világosan szemlélteti a Ni-koncentráció bazipetális gradiense, a szárból és a levélben (1. és 2. táblázat). A mérési eredmények egyeznek más kutatók adataival. HUNTER és VERGANO [10] és VERGANO [18] kísérletei szerint a zabban, a fiatal növényiszervek több nikkelt tartalmaznak, mint az idősebbek; a nikkelfelhalmozódás azon növényrészekben nagymértékű, ahol az anyagcsere a legintenzívebb. Ugyanezen szerzők szerint, a nikkelfelhalmozódás a levélben és a szemben intenzívebb, mint a szárból, illetve a szalmában. LE RICHE [12] kutatási eredményei arra utalnak — burgonyanövényeken végzett kísérletekben, hogy a nikkelt nagyobb mértékben halmozódik fel a növény felső leveleiben, mint a gyökérben. CROOKE és KNIGHT [6], zabnövényeken végzett kísérleteket értékelve, szintén arra a megállapításra jutottak, hogy a Ni nagyobb mértékű felhalmozódása a növények felső részében, a fiatal levelekben található. A Ni nagyobb méretű felhalmozódása a növények felső részében, a legfiatalabb leveleiben, közvetve arra utal, hogy ez az elem a xilem szállító nyálábokban könnyen mozog, valamint, hogy a transzspirációs áramlásnak fontos szerepe van a Ni akropetális szállításában.

Ellentétben a mi eredményeinkkel, az idézett kutatók kísérleteikben — nagyobb mennyiségű nikkelt kezelés esetén — az idősebb levelekben intenzívebb felhalmozódást találtak, mint a fiatalabb levelekben. Az egyes ionok

akropetális szállítása több biotikus és abiotikus tényezőtől függ; ezzel magyarázható, hogy a szakirodalom, az egyes elemek mozgására és eloszlására — a növények egyes szerveiben — eltérő adatokkal szolgál. E feltevést PARIROK és KUZNETSOVA (idézve MISHRA és KAR [13]) kutatási eredményei igazolják, melyek szerint a talaj hőmérséklete számottevő mértékben befolyásolja a Ni transzlokációját, a gyökérből a levelekbe.

Mindamellett, hogy a Ni a gyökérből gyorsan transzlokálódik — a földfeletti szervekbe — számottevő mennyiség visszamarad a gyökerekben (1. táblázat). PETERSON [14] kutatásai alapján a Ni mennyiségének aránya, a földfeletti rész és a gyökér között a növények 10 μM Ni-t tartalmazó oldattal történő kezelése esetében: zab növényeknél 0,38, paradicsomnál 0,16, töknél 0,67, repcénél 0,92. Ezek az adatok szintén a gyökérben való nagyobb felhalmozódásra utalnak, valamint az elem különböző mérvű transzlokációjára, gyökérből a földfeletti részbe, különböző növényeknél.

A nikkelt — hasonlóan a többi nehézfémhez — kelát-vegyületeket képes alkotni. Feltételezhető, hogy a nikkelt kelátokat képezve, más nehézfémeket — mint pl.: a vasat — kiszorítja az anyagszere aktív központjaiból. Egyesek ezzel magyarázzák a vashiány és a nikkeltöbblet tünetek hasonlóságát a növényeknél. TIFFIN [17] kutatási eredményei igazolták a feltevést, hogy a Ni a növényekben kelát-vegyületeket képez. A paradicsomnövényben a Ni 85%-a — a xilemen — kation alakjában transzlokálódik, a hátramaradt 15% negatív töltésű vegyületet alkot. A tökben, a sárgarépában, a földimogyoróban a Ni legnagyobb része, negatív töltésű vegyületként transzlokálódik. Feltételezhető, hogy a Ni transzlokáció előtt, szerves anionnal vegyületet képez, melynek természetét nem ismerjük. Feltételezhető, hogy a Ni nagy mozgékony-sága — a növényekben —, azon tulajdonságán alapszik, hogy hajlamos kelát-vegyületek képzésére.

A Ni a xilemben és a floemben egyaránt mozgékony, erre utalnak azok a kísérleti eredmények, melyeket a Ni levélfelvételkor kaptunk (3. táblázat). A kezelt levélből a ^{63}Ni , nemcsak akropetális irányban szállítódott — az újonnan képződött levelekbe és szárba —, hanem a gyökér irányába is. Ha összehasonlítjuk a gyökér (1. táblázat) és a kezelt levél (3. táblázat) ^{63}Ni tartalmát megfigyelhető, hogy a ^{63}Ni -felhalmozódás a levélben nagyobb volt, mint a gyökérben; eltekintve attól, hogy a felvétel körülményei nem voltak ugyanolyanok. ANDERSON [2], szintén nagymértékű Ni-akkumulációt észlelt a levelekben. A szerző szerint, a 2,46 ppm Ni koncentrációjú oldatban tartott búza-növényeken végzett kísérletkor 4 óra elteltével 19,9 ppm nikkelt észleltek a zöld levelekben. A felsorolt adatok, valamint a mi kísérleteink is azt igazolják, hogy a növénylevelek intenzíven veszik fel a nikkelt és tározzák.

A Ni floemben és cilemben való transzportjáról igen kevés irodalmi adat van. VERGANO és HUNTER [18] szerint a floem-szállító nyalábok a nekrosis különböző fokát mutatják, amikor a mesophyllum sejtjei a Ni többlet hatására elhalnak. Ez közvetve arra utal, hogy a Ni a környező szövetekből a floemba áthelyeződik. GAMBI [9] kutatásai szerint, az *Alyssum bertolonii* Desv. növény — melyre jellemző, hogy nagymennyiségű nikkelt képes felhalmozni — ezt az elemet, elsősorban a szár epidermiszében, a szklerenhimben és a szállító nyalábok között tározza. A szerző nem tesz említést, a nikkelt floemben történő mozgásáról.

A Ni mozgékony-ságára — a növények föld feletti szervein keresztül történő felvétel útján — BOSKOVIC [3], valamint STEWART és ROSS [15] kísérle-

tei utalnak. BOSKOVIĆ a búzanövényeket „Sabithane” szerrel permetezte (ez nikkelt tartalmaz); a permetezés után, nagymértékű Ni-felhalmozódást észlelt a szemekben. STEWART és ROSS [15], az almafák NiCl_2 oldattal történő permetezése után a termésben észlelték a felhalmozódást. A felsorolt eredmények alapján nem lehet teljes biztonsággal meghatározni, hogy honnan származik az almatermésben transzlokálódott nikkelt; feltehető azonban, hogy a — kezelés után — áthelyeződött a növények zöld szerveiből.

Összefoglalás

Mesterséges körülmények között, vízkultúrában tanulmányoztuk a ^{63}Ni bazipetális és akropetális vándorlását, retranzlokációját, valamint eloszlását. A kísérleteket fiatal napraforgó növényeken végeztük. A vizsgálati eredmények alapján megállapítható:

1. A fiatal napraforgó növények a gyökéren, valamint a levélen keresztül egyaránt könnyen felveszik a nikkelt, mely mindkét esetben akropetális és bezipetális irányban intenzíven vándorol. A gyökéren keresztül felvett nikkelt 32%-a 24 óra alatt, 16 nap elteltével viszont 57%-a transzlokálódott a gyökérből a földfeletti szervekbe. A levélen keresztül felvett nikkelt esetében a transzlokáció a kezelt levélből a többi szervekbe 4%-os, illetve 37%-os volt.

2. A nikkelt retranzlokációja az újonnan fejlődött szervekbe számottevő a felvett össz mennyiség százalékában; 16 nappal a gyökérkezelés után 35%-os, a levélfelvétel után viszont 22%-os volt.

3. A nikkelt mennyisége — a növény földfeletti szerveiben — bazipetális irányban csökken, ami arra utal, hogy a nikkelt a transzspirációs áramlással, a fiatal szervek irányába intenzíven szállítódik és ott felhalmozódik.

4. A nikkelt gyökéren keresztül történő leadása a környező tápoldatra — tekintet nélkül a felvétel módjára — igen gyenge. Gyökérfelvétel esetén a növény összes nikkelttartalmához viszonyítva a leadás 5%, míg levélfelvétel esetén mindössze 0,4% volt.

A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a nikkelt egyaránt jól vándorol a xilemben (akropetális irányban) és a floemben (bazipetális irányban). A nikkelt — a növényekben történő mozgása alapján — a legmozgékonyabb elemek csoportjába sorolható.

Irodalom

- [1] AGRAWALA, S. C. & KUMAR, A.: The effect of heavy metals and bicarbonate excess on sunflower plants grown in sand culture with special reference to catalase and peroxidase. *J. Indian Botan. Soc.* **41**, 77–92. 1962.
- [2] ANDERSON, A. S.: The duration of effectiveness of activity of systemic fungicides in wheat seedlings against stem rust. Master's Thesis, Univ. Minnesota. Minneapolis. 1960.
- [3] BOSKOVIĆ, M.: Investigations of chemical control of leaf rust in wheat. *Savremena poljoprivreda*. **9**, 637–647. 1963.
- [4] BUKOVAČ, M. J. & WITTWER, S. H.: Absorption and mobility of foliar applied nutrients. *Plant Physiol.* **32**, 428–435. 1957.
- [5] CHANG, A. T. & SHERMAN, G. D.: The nickel content of some Hawaiian soils and plants and the relation of nickel to plant growth. *Hawaii Agr. Expt. Sta. Tech. Bull.* (19) 3–25. 1957.
- [6] CROOKE, W. M. & KNIGHT, A. H.: The relationship between nickel-toxicity symptoms and the absorption of iron and nickel. *Ann. Appl. Biol.* **43**, 454–464. 1955.

- [7] DOBROLYUSKII, O. K. & SLAVVO, A. V.: Primenenie mikroelementa nikelja dlja pitaniya vinograda. Doklady Akad. Nauk SSSR. **112**. 347—349. 1957.
- [8] FORSYTH, F. R.: Inhibition by nickel (and sulfadiazine) of the respiration and development of established infection on Thatcher wheat caused by *Puccinia recondita*. Canad. J. Botany. **40**. 1962.
- [9] GAMBI, O. V.: Prima dati localizzazione istologica del nichel in *Alyssum bertolonii* Desv. Giorn. Bot. Ital. **101**. 59—60. 1967.
- [10] HUNTER, J. G. & VERGANO, O.: Nickel toxicity in plants. Ann. Appl. Biol. **39**. 279—284. 1952.
- [11] LAUCHI, A.: Genotypic variation in transport. In: Transport in plants. II. Encyclopedia of plant physiology. **2**. Ed.: LÜTTGE, U. & PITMAN, M. G., Springer. Heidelberg. 1976.
- [12] LE RICHE, H. H.: Metal contamination of soil in the Woburn Market-Garden experiment of sewage sludge. J. Agric. Sci. **71**. 205—207. 1968.
- [13] MISHRA, D. & KAR, M.: Nickel in plant growth and metabolism. The Botanical Review. **40**. 395—452. 1974.
- [14] PETTERSON, O.: Heavy metal ion uptake by plants from nutrient solutions with metal ion, plant species and growth period variations. Plant and Soil. **48**. 445—459. 1976.
- [15] STEWART, D. K. & ROSS, R. G.: Nickel residues in apple fruits and foliage following spray of nickel chloride. Canad. J. Plant Sci. **49**. 357—377. 1969.
- [16] SUTCLIFFE, J. F.: Regulation in the whole plant. In: Transport in plants. II. Encyclopedia of plant physiology. **2**. Ed.: LÜTTGE, U. & PITMAN, M. G., Springer. Heidelberg. 1976.
- [17] TIFFIN, L. O.: Translocation of nickel in xylem exudate of plants. Plant Physiol. **48**. 273—277. 1971.
- [18] VERGANO, O. & HUNTER, J. G.: Nickel and cobalt toxicities in oat plants. Ann. Botany. **17**. 317—328. 1953.
- [19] WEATHERLEY, P. E.: Ion movement within the plant and its integration with other physiological processes. In: Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Ed.: RORISON, I. H., Blackwell Sci. Publ. Oxford. 1969.

Érkezett: 1978. október 10.

Distribution and Retranslocation of Nickel (^{63}Ni) in Young Sunflower Plants

N. PETROVIĆ and R. KASZTORI

Faculty of Agriculture, University of Novi-Sad (Yugoslavia)

Summary

It was studied under artificial conditions in water-culture the basipetal and acropetal migration, retranslocation and distribution of ^{63}Ni . The experiments were carried out with young sunflower plants. On the basis of the results obtained it may be stated as follows.

1. The young sunflower plants easily absorb nickel through the roots as well as through the leaves which in both cases migrates in acropetal and basipetal direction. 32% of nickel absorbed by roots was translocated into the overground parts of the plant in 24 hours and 57% of it after 16 days. In the case of foliar uptake the translocation rate into other members were 4, and 37% respectively.

2. The retranslocation of nickel in the newly developed organs is considerable, expressed in percentage of the total amount: 16 days after the root treatment 35% and after the foliar uptake 22%.

3. The amount of nickel decreases in the overground parts of plants in basipetal direction that refers to the fact that the nickel is transferred by the transpiratory flux into the young organs and accumulates there.

4. The delivery of nickel through the roots to the nutrient solution — independently from the modality of uptake — is very little. In the case of uptake by root in terms of the nickel content of the plant the delivery accounts for 5% and in case of foliar uptake only 0,4%.

On the basis of the results obtained it may be stated that the nickel migrates intensively in the xilem tissue (in acropetal direction) and in the phloem (in basipetal direction). Nickel is therefore one of the most mobil elements.

Table 1. The distribution and retranslocation of ^{63}Ni in young sunflower plants following uptake by roots. (1) Parts of plant: *a*) root, *b*) the lower part of stem, *c*) cotyledons, *d*) the first pair of leaves, *e*) the upper part of stem, *f*) the second pair of leaves, *g*) the third pair of leaves, *h*) the whole plant, *i*) outflow across the root. (2) After 24 hours uptake of ^{63}Ni . (3) 16 days past since ^{63}Ni uptake. (4) Cpm/g dry matter. (5) Cmp/plant. (6) the distribution of ^{63}Ni , %.

Table 2. The distribution and retranslocation of ^{63}Ni in young sunflower plants the roots of which were removed after ^{63}Ni uptake. (1) Parts of plant: *a*) newly developed root, *b*) stem (A + B), *c*) the lower part of stem (A), *d*) the middle part of stem (B), *e*) cotyledons, *f*) the first pair of leaves, *g*) the upper part of stem (C), *h*) the second pair of leaves, *i*) the third pair of leaves, *j*) the whole plant. Notation (2)–(6) see in Table 1.

Table 3. The distribution and retranslocation of ^{63}Ni in young sunflower plants after foliar uptake. (1) Parts of plant: *a*) root, *b*) cotyledons, *c*) the lower part of stem, *d*) the first pair of leaves: I. treated leaf, II. untreated leaf. *e*) the upper part of stem, *f*) the second pair of leaves, *g*) the third pair of leaves, *h*) the whole plant, *i*) outflow through the root. Notation (2)–(6) see in Table 1.

Distribucion y retranslocacion del niquel (^{63}Ni) en plantas juvenes de girasol

N. PETROVIĆ y R. KASZTORI

Facultad Agronomica de la Universidad, Novi-Sad (Yugoslavia)

Resumen

Estudiámos en condiciones artificiales, en solución nutritiva la migración basipeta y acropetal, la retranslocación y distribución del ^{63}Ni . Los experimentos fueron realizados con plantas juvenes de girasol. A base de los resultados pueden constatare los siguientes.

1. Las plantas juvenes de girasol pueden absorber fácilmente el níquel por sus raíces y asimismo por sus hojas, y este elemento migra intensivamente en dirección acropetal y basipetal en ambos casos. El 32 por ciento del níquel absorbido por las raíces se translocó a los órganos subterráneos en 24 horas, mientras que en 16 días se translocó el 57 por ciento. Del níquel absorbido por las hojas se translocó de la hoja tratada a los otros órganos 4 y 37 por ciento respectivamente.

2. La retranslocación del níquel es considerable a los órganos nuevamente desarrollados, en por ciento de la cantidad total; llegó ésta después de 16 días del tratamiento de la raíz a 35, y después de la absorción por la hoja a 22 por ciento respectivamente.

3. En los órganos subterráneos la cantidad del níquel se disminuye en dirección basipetal lo que indica, que el níquel se transporta intensivamente con el flujo de transpiración a los órganos juvenes y se acumula en ellos.

4. La entrega del níquel tras las raíces a la solución nutritiva es muy baja, independientemente del modo de la absorción. En el caso de la absorción por las raíces, la entrega fué 5 por ciento de la cantidad total del níquel en la planta, mientras que en el caso de la absorción foliar llegó solamente a 0,4 por ciento.

A base de los resultados se puede hacer constar que el níquel migra bien igualmente en el xilem (en dirección acropetal) y en el floem (en dirección basipetal). El níquel puede clasificarse — a base de su migración en la planta — al grupo de los elementos más móviles.

Tabla 1. La distribución y retranslocación de ^{63}Ni en las plantas jóvenes de girasol después de la absorción realizada por las raíces. (1) Organos; *a*) Raíz; *b*) La parte inferior del tallo; *c*) Cotiledones; *d*) Primer par de hojas; *e*) La parte superior del tallo; *f*) Segundo par de hojas; *g*) Tercer par de hojas; *h*) La planta total; *i*) Entrega por las raíces. (2) Después de 24 horas de absorción del ^{63}Ni . (3) 16 días pasadas después de la absorción del ^{63}Ni . (4) Cpm/g materia seca. (5) Cpm/planta. (6) La distribución del ^{63}Ni en por ciento.

Tabla 2. La distribución y retranslocación del ^{63}Ni en las plantas juvenes de girasol cuyas raíces fueron cortadas después de la absorción realizada del ^{63}Ni . (1) Organos: *a*) La raíz nuevamente desarrollada; *b*) Tallo (A+B); *c*) Parte inferior del tallo (A); *d*) Parte

mediana del tallo (B); e) Cotiledones; f) Primer par de hojas; g) Parte superior del tallo (C); h) Segundo par de hojas; i) Tercer par de hojas; j) Planta total. Indicaciones (2) — (6) veanse en la Tabla 1.

Tabla 3. La distribución y retranslocación del ^{63}Ni en las plantas jóvenes de girasol después de la absorción realizada por las hojas. (1) Organos: a) Raíz; b) Cotiledones; c) Parte inferior del tallo; d) Primer par de hojas; I. Oja tratada, II. Oja no tratada; e) Parte superior del tallo; f) Segundo par de hojas; h) Planta total; i) Entrega tras las raíces. Indicaciones (2) — (6) véanse en la Tabla 1.

Распределение и ретранслокация (^{63}Ni) в молодых растениях подсолнечника

Н. ПЕТРОВИЧ и Р. КАСТОРИ

Сельскохозяйственный факультет Новосадского Университета, Новый Сад (Югославия)

Резюме

В опыте, в водных культурах изучали базипетальное и акропетальное передвижение Ni^{63} , его ретранслокацию и распределение. Опыты проводили с молодыми растениями подсолнечника. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Молодые растения подсолнечника легко усваивают Ni через корни и листья, который в обоих случаях интенсивно движется в акропетальном и базипетальном направлениях. После 24-часового усвоения никеля корнями в надземные органы растения передвинулось 32% Ni спустя 16 дней — 57%-ов. При усвоении Ni через листья транслкация его в другие органы растений составляла 4% или 37%.

2. Значительна ретранслокация Ni в новообразованных органах растений, выраженная в процентах от общего количества усвоенного Ni . После 16-дневной обработки корней она составляла 35%, после обработки листьев — 22%.

3. В надземных органах растений содержание Ni снижается базипетально, указывая на то, что Ni с транспирационным потоком интенсивно движется к молодым органам и там накапливается.

4. Отдача Ni через корни в окружающую питательную среду незначительная независимо от способа усвоения. Отдача Ni при усвоении его через корни составляет 5%, при усвоении через листья — всего 0,4% от общего содержания этого элемента в растении.

Исходя из полученных данных можно установить, что Ni хорошо передвигается как в ксилеме (в акропетальном направлении), так и в флоэме (в базипетальном направлении). На основании передвижения никеля в растении его можно отнести к группе легкоподвижных элементов.

Табл. 1. Распределение и ретранслокация Ni^{63} в молодых растениях подсолнечника после усвоения его через корни. (1) Органы растений: а) корень; б) нижняя часть стебля; с) семядоли; d) первая пара листьев; е) верхняя часть стебля; f) вторая пара листьев; g) третья пара листьев; h) все растение; i) отдача через корни. (2) Ni после 24-часового усвоения. (3) Ni^{63} на 16 день после усвоения. (4) Им. мин./г сухого вещества. (5) Им. мин./растение. (6) Процентное распределение Ni^{63} .

Табл. 2. Распределение и ретранслокация Ni^{63} в молодых растениях подсолнечника, у которых после его усвоения удалили корни. (1) Органы растений. а) вновь развившийся корень; б) стебель (A + B); с) нижняя часть стебля (A); d) средняя часть стебля (B); е) семядоли; f) первая пара листьев; g) верхняя часть стебля (C); h) вторая пара листьев; i) третья пара листьев; j) все растение. (2) — (6) смотри в таблице 1.

Табл. 3. Распределение и ретранслокация Ni^{63} в молодых растениях подсолнечника после усвоения его через листья. (1) Органы растений: а) корень; б) семядоля; с) нижняя часть стебля; d) первая пара листьев; I. обработанный лист, II. необработанный лист; е) верхняя часть стебля; f) вторая пара листьев; g) третья пара листьев; h) все растение; i) отдача через корень. (2) — (6) смотри в таблице 1.